

$$u = \frac{x_c - c_c}{h_c},$$

$x_c$  – середина каждого интервала;  $c_c$  – середина всего промежутка измерений;  $h_c$  – длина интервала.

Для вычисления эмпирических моментов были использованы известные соотношения [6]:

$$m_3 = \frac{h_c^3}{n} \left[ \sum_1^n u_k^3 - 3\bar{u} \sum_1^n u_k^2 + 2(\bar{u})^3 n \right]; \quad (5)$$

$$m_4 = \frac{h_c^4}{n} \left[ \sum_1^n u_k^4 - 4\bar{u} \sum_1^n u_k^3 + 6(\bar{u})^2 \sum_1^n u_k^2 - 3(\bar{u})^4 n \right]; \quad (6)$$

где  $m_3$  и  $m_4$  – эмпирические моменты третьего и четвертого порядков соответственно.

При подстановке данных из табл. 3 в соотношения (5) и (6) в результате вычислений были получены для соотношений (4) следующие эмпирические значения:  $C_1 = 0,281$ ;  $E_p = 0,207$ .

После этого было проверено, не противоречат ли полученные значения коэффициента асимметрии и эксцесса гипотезе о нормальности распределения. Для этого эмпирические значения  $C_1$ ,  $E_p$  сравнивались соответственно с их средние квадратическими ошибками (стандартом) (7) для коэффициента асимметрии и (8) для эксцесса [6]:

$$s\left(\frac{m_3}{s^3}\right) = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} = 0,61; \quad (7)$$

$$s\left(\frac{m_4}{s^4} - 3\right) = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} = 0,92. \quad (8)$$

Если эмпирические коэффициент асимметрии или эксцесс превосходят по абсолютной величине свой стандарт, то гипотезу о нормальности распределения отвергают. В описываемом случае, даже для небольшого числа измерений  $n = 10$ , эмпирические коэффициент асимметрии и эксцесс меньше их стандарта и незначительно отличаются от нуля, что свидетельствует о подтверждении гипотезы о нормальном распределении полученных экспериментальных данных.

**Выводы.** По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. В соответствии с требованиями ГОСТ разработана методика обработки экспериментальных результатов по определению стойкости радиоэлектронных компонентов к поражающему воздействию ЭМИ.
2. Данная методика применима не только для задач защиты объектов вооружения, военной техники и критических гражданских объектов от поражающего воздействия ЭМИ, свойственному проявлениям электромагнитного терроризма, но и к любым другим видам ЭМИ естест-

венного и искусственного происхождения.

3. Полученные результаты позволяют сделать вывод о правомочности гипотезы нормального распределения результатов измерений в рассмотренном случае и о корректности полученных экспериментальных данных.

**Список литературы:** 1. Рикетс Л.У., Бриджес Дж.Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты. Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 327 с. 2. Белоус В. Угроза использования ЭМИ-оружия в военных и террористических целях // Ядерный контроль. – № 1 (75), Том 11. – 2005. – С. 133-140. 3. Коробко А.И., Коробко З.И. Реальные уровни стойкости различной радиоэлектронной аппаратуры к воздействию импульсного электромагнитного излучения СВЧ – диапазона // Сборник научных трудов 2-го Международного радиотехнического форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Харьков. – 2005. – Т. 6. – С. 96. 4. Коробко А.И., Коробко З.И. Математическое статистическое моделирование поведения элементов радиоэлектронной аппаратуры при воздействии сверхмощного электромагнитного излучения // Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія, освіта, здоров'я», 4-6 червня 2008 р. Харків: у 2 ч. – Ч. 2. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – С. 351. 5. ГОСТ 24026-80 – Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. 6. Румишский Л.З., Смирнов С.Н. Методы обработки результатов эксперимента. – М.: Из-во Московского института стали и сплавов, 1973. – 162 с. 7. Дворяшин Б.В., Кузнецов Л.И. Радиотехнические измерения. – М.: Советское радио, 1995. – 359 с.

Поступила в редколлегию 16.11.2009

УДК 651.326

**В.І.КРАВЧЕНКО**, докт.техн.наук, професор, НТУ «ХПІ»;  
**А.Е.ГОРЮШКІН**, аспірант, НТУ «ХПІ»

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ З ЧАСОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ

Надані пропозиції формування каналних сигналів та вибір виду імпульсної модуляції для побудови систем передачі з часовим поділом каналів. Вибір виду імпульсної модуляції визначає якість функціонування багатоканальних систем передачі, для оцінки якої використовуються різні критерії, який здійснюється на основі порівняння завадостійкості при прийманні АІМ, ШІМ і ФІМ сигналів.

Sentences of creation of channel signals and a choice of sort of impulse modulation for construction of systems of transmission with time sharing of channels are presented. The choice of sort of impulse modulation defines quality of functioning of multi-channel systems of transmission for which estimation different criteria which is carried out on the basis of noise stability matching at reception АІМ, WІМ and PІМ signals are used.

**Вступ.** Ідея часового розділення каналів (ЧРК) полягає в тім, що елементи первинного сигналу  $c_i(t)$ , що належить  $i$ -му каналу, передаються в інтервалах часу  $\tau_{ki}$ , що не перекриваються, вільних від сигналів інших каналів, по загальній лінії зв'язку.

**Постановка проблеми.** Розглянуті питання, пов'язані з особливостями побудови передавального тракту в системах передачі даних з часовим розділенням каналів, у тому числі в цифрових системах передачі. Розглянуто засоби підвищення ефективності функціонування певних елементів схеми передавального тракту цифрових систем передачі.

**Аналіз літератури.** У літературі, присвяченій телекомунікаційним системам [1,4], дедалі більше уваги приділяється методам розділення каналних сигналів. У роботах [2,7] представлений принцип побудови систем передачі з часовим розділенням каналів. Види імпульсної модуляції для систем з часовим розділенням каналів більш детально розглянуто у [3,5,6].

**Мета** – розробка пропозицій щодо формування каналних сигналів та вибір виду імпульсної модуляції для побудови систем передачі з часовим розділенням каналів.

У системах передачі з часовим розділенням каналів ЧРК переносниками є періодичні послідовності прямокутних імпульсів, зрушені відносно один одного на величину захисного інтервалу  $\tau_z$ , параметри яких змінюються за законами зміни первинних сигналів.

Періодична послідовність прямокутних імпульсів (ПППІ) із зазначенням всіх її параметрів наведена на рис. 1.

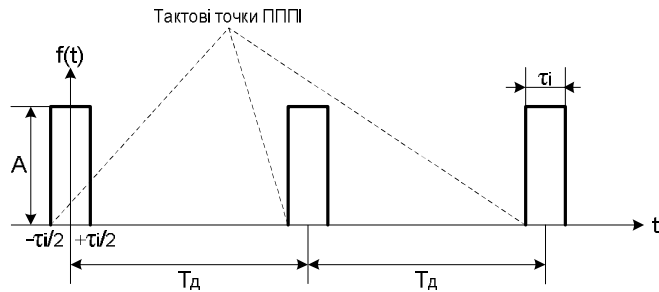


Рисунок 1 – Переносник – періодична послідовність прямокутних імпульсів

Основними параметрами ПППІ є:  $A$  – амплітуда імпульсів,  $\tau_i$  – тривалість імпульсів,  $T_d$  – період проходження імпульсів або  $F_d = 1/T_d$  – частота проходження чи тактова частота періодичної послідовності імпульсів (кругова частота проходження  $\Omega_d = 2\pi F_d$ ), положення імпульсів щодо тактових точок  $t_i = iT_d$ ,  $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , і скважність ПППІ  $q = T_d/\tau_i$ . У сучасних СП з ЧРК значення скважності знаходиться у межах 20...2500 [2].

Періодичну послідовність прямокутних імпульсів можна представити в аналітичній формі.

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sigma(t - kT_d), \quad (1)$$

де  $\sigma(t)$  – функція, що описує поодинокий імпульс вихідної послідовності  $f(t)$ . Для ПППІ (рис. 1) функція  $\sigma(t)$  має вигляд (2).

$$\sigma(t) = \begin{cases} A & \text{при } -\frac{\tau_i}{2} \leq t \leq \frac{\tau_i}{2} \\ 0 & \text{при } t < -\frac{\tau_i}{2}, t > \frac{\tau_i}{2} \end{cases}. \quad (2)$$

З іншого боку, ПППІ  $f(t)$  може бути представлена рядом Фур'є.

$$f(t) = A \left[ \frac{\tau_i}{T_d} + \frac{2}{p} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(np \frac{\tau_i}{T_d})}{n} \cos(n\Omega_d t) \right], \quad (3)$$

де  $\Omega_d = 2\pi F_d$  – кругова частота послідовності  $f(t)$ .

Як випливає з (3), спектр ПППІ містить у собі постійну складову з амплітудою, рівною  $A_0 = A \frac{T_d}{\tau_i} = \frac{A}{q}$  і гармоніки частоти проходження – частоти дискретизації з амплітудами, що наведені у (4).

$$A_{ir} = \frac{2A}{p} \frac{\sin(np \frac{\tau_i}{T_d})}{n} \cos(n\Omega_d t) = \frac{2A}{pn} \sin(\frac{np}{q}) \cos(2npF_d t). \quad (4)$$

Спектр ПППІ наведено на рис. 2.

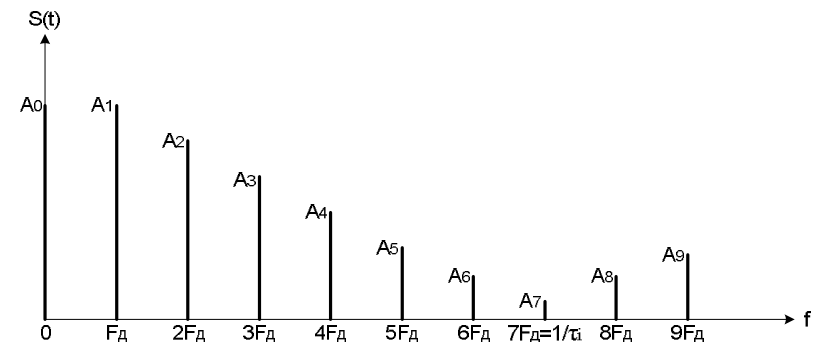


Рисунок 2 – Спектр амплітуд періодичної послідовності прямокутних імпульсів

Відомо, що обвідна спектра амплітуд ПППІ відповідає спектру поодинокого прямокутного імпульсу тривалістю  $\tau_i$ , а число гармонік тактової частоти (частоти проходження) до першого нуля спектра амплітуд дорівнює  $q - 1$ , тобто на одиницю менше скважності послідовності імпульсів  $q$ . І крім того, більше ніж 90...95 % потужності періодичної послідовності імпульсів зосереджено в смузі

частот від 0 до  $F_{\text{макс}} = 1/\tau_i$ . Отже, для передачі вихідної ПППП по каналам, трактам і лініям зв'язку їхня смуга частот повинна бути не менше  $\Delta F = 1/\tau_i$ .

Формування каналних сигналів у СП з ЧРК здійснюються на основі модуляції одного з основних параметрів ПППП. В основному знайшли застосування три види імпульсної модуляції: амплітудно-імпульсна (АІМ), широтно-імпульсна (ШІМ) і часова імпульсна модуляція, різновидами якої є фазоімпульсна модуляція (ФІМ) та частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ) [3,6].

Вибір виду імпульсної модуляції визначає якість функціонування багато-каналних систем передачі, для оцінки якої використовуються різні критерії (критерій завадостійкості, критерій використання пропускної спроможності й критерій ефективності). Інтегральним показником якості є критерій завадостійкості. Саме завадостійкість визначає пропускну спроможність і ефективність, під якою розуміється значення питомої мінімальної енергії сигналу, що припадає на одну двійкову одиницю інформації. З погляду передачі не має принципового значення, який вид імпульсної модуляції використати. Тому вибір виду імпульсної модуляції здійснюють на основі порівняння завадостійкості при прийманні АІМ, ШІМ і ФІМ сигналів [1,5].

Для оцінки завадостійкості різних видів імпульсної модуляції зробимо наступні припущення.

До входу приймального пристрою СП з ВРК надходить груповий сигнал  $\tilde{S}(t)$ , являє собою сукупність каналних сигналів  $S(t)$  та завади  $n(t)$ .

$$\tilde{S}(t) = S(t) + n(t); \quad (5)$$

При цьому основним видом завад є білий шум з енергетичним спектром  $G(t) = G_0 = \text{const}$  і з середньою потужністю  $\sigma_3^2$ .

Максимальне значення корисного сигналу на вході приймального пристрою СП з ВРК дорівнює  $A_{\text{макс}}$ , що під впливом завади змінюється у певних межах.

На виходах фільтрів нижніх частот каналів утворюються первинні сигнали  $\tilde{c}(t)$ , які являють собою корисні сигнали  $c(t)$  і перетворену заваду  $\varepsilon(t)$ .

$$\tilde{c}(t) = c(t) + \varepsilon(t). \quad (6)$$

Під завадостійкістю сигналів будемо розуміти співвідношення (7).

$$\eta = \frac{W_c}{W_3}, \quad (7)$$

де  $W_c$  – потужність корисного сигналу на виході ФНЧ зі смугою пропускання  $\Delta F_{\text{НЧ}}$ ;  $W_3$  – потужність завади на виході ФНЧ.

Завадостійкість АІМ сигналів визначається наступним співвідношенням.

$$\eta_{\text{АІМ}} = \frac{m_a^2}{2} \frac{A_{\text{макс}}^2}{G_0 \Delta F_{\text{НЧ}}} \frac{t_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} = \frac{m_a^2 A_{\text{макс}}^2}{2q G_0 \Delta F_{\text{НЧ}}}. \quad (8)$$

Для АІМ  $m_a = 1$ . Таким чином, максимальне значення завадозахищеності АІМ сигналів не перевищує наступного значення.

$$\eta_{\text{АІМ}} \leq \frac{A_{\text{макс}}^2}{2q G_0 \Delta F_{\text{НЧ}}}. \quad (9)$$

Завадостійкість ШІМ і ФІМ сигналів визначають за формулою.

$$\eta_{\text{ШІМ, ФІМ}} = \frac{1}{2} \frac{A_{\text{макс}}^2}{G_0 \Delta F_{\text{НЧ}}} \frac{t_i}{T_{\text{д}}} \left( \frac{\Delta t_{\text{макс}}}{t_{\phi}} \right)^2 = \frac{A_{\text{макс}}^2}{2q G_0 \Delta F_{\text{НЧ}}} \frac{\Delta t_{\text{макс}}^2}{t_{\phi}^2}; \quad (10)$$

З урахуванням (9) завадостійкість ШІМ і ФІМ сигналів визначають наступним співвідношенням.

$$\eta_{\text{ШІМ, ФІМ}} = \eta_{\text{АІМ}} \frac{\Delta t_{\text{макс}}^2}{t_{\phi}^2}, \quad (11)$$

де  $m_a$  – коефіцієнт, що характеризує глибину модуляції;  $A_{\text{макс}}$  – максимальне значення корисного сигналу;  $G_0$  – енергетичний спектр завади;  $\Delta F_{\text{НЧ}}$  – смуга пропускання;  $q = T_{\text{д}}/\tau_i$  – скважність імпульсів каналного сигналу;  $\tau_{\phi}$  – тривалість переднього (заднього) фронту імпульсу;  $\Delta t_{\text{макс}}$  – максимальне відхилення фронту імпульсу при модуляції [1].

Системи передачі на основі ШІМ і ФІМ мають значно більшу завадостійкість, ніж системи передачі з АІМ, тому що останні виключають можливість застосування обмежників амплітуд у тракті приймання. У зв'язку з цим амплітудно-імпульсна модуляція мало придатна для побудови СП з ЧРК підвищеної завадостійкості. АІМ знаходить застосування як проміжне перетворення при реалізації та демодуляції більш складних видів імпульсної модуляції (ШІМ, ФІМ, ІКМ) або їх інших різновидів, які є комбінаціями класичних видів імпульсної модуляції.

При виборі ШІМ або ФІМ виходять із наступного. При однаковій смузі пропускання лінійного тракту СП з ЧРК і однаковій формі імпульсів завадостійкість ШІМ і ФІМ практично однакова, але при ШІМ спрощується побудова приймального пристрою. З іншого боку, при ШІМ середня потужність сигналу більше, ніж при ФІМ, тому що для забезпечення можливості модуляції імпульсів їх середню тривалість при ШІМ доводиться брати більшою, ніж при ФІМ. При збереженні середньої потужності сигналу, перехід до ФІМ дає можливість збільшити амплітуду імпульсів  $A_{\text{макс}}$  і тим самим збільшити відношення сигнал/завада на вході приймального пристрою (10).

Варто також мати на увазі, що при ШІМ ширина смуги пропускання тракту передачі повинна забезпечити досить малі переключення найкоротших імпульсів і тому виявляється більш широкою, ніж смуга частот, необхідна для передачі імпульсів середньої (немодульованої) тривалості. При ФІМ тривалість всіх імпульсів залишається однакою, що дозволяє вибрати оптимальну ширину смуги пропускання, що забезпечує максимальну завадостійкість при заданому числі каналів [4,7].

**Висновок** Завдяки таким перевагам, як енергетичні витрати на передачу

сигналу, завадостійкості (здатності модульованих сигналів протистояти шкідливому впливу перешкод), складності встаткування та ін., рекомендується застосовувати ФІМ при побудові систем передачі з часовим розділенням каналів.

**Список літератури.** 1. Теоретические основы электросвязи: Учебное пособие / Иванов М.А., Кравец В.А.; Под ред. В.А.Кравца. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 354 с. 2. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / Иванов В.И., Гордиенко В.М., Попов Г.Н. и др.; Под ред. Иванова В.И. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с. 3. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Крук Б.И., Попантопуло В.И., Шувалов В.П.; под ред. профессора В.П.Шувалова. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 647 с. 4. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. и др.; Под ред. В.Н.Гордиенко и В.В.Крухмалева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с. 5. Системы электросвязи: Учебник для вузов / Под ред. В.П.Шувалова. – М.: Радио и связь, 1987. – 512 с. 6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с. 7. Многоканальные системы передачи. Учебник для вузов / Н.Н.Баева, В.Н.Гордиенко, С.А.Курицын и др.; под ред. Н.Н.Баевой и В.Н.Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997.

Надійшла до редколегії 27.10.2009

УДК 621

**Б.И.НЕВЗЛИН**, канд.техн.наук, ВНУ им. В.Даля, Луганск;  
**Н.П.ГОЛОВАЧЕВ**, аспирант, ВНУ им. В.Даля, Луганск

## РАСЧЕТ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Запропонована електрична модель пористого вологого сипкого матеріалу, що враховує форми зв'язку води з сухим матеріалом і адекватно відображає частотну залежність діелектричної проникності і електропровідності в межах 0,5 - 110 МГц. Мал. 4, табл.1, іст 9.

The electronic model of porous, moist, friable material, taking into account the combination of water with dry material, and adequately reflecting the frequency dependence of inductance and conductivity within the limits of 0.5-110 MHz, is offered in Fig. 4, Table 1, Source 9.

**Введение.** В работе [1] приведены многие известные электрические модели влажных материалов. Как отмечено там же, наиболее существенными недостатками известных моделей являются отсутствие учета форм связи воды с материалом и не зависимость диэлектрической проницаемости (ДП) и электропроводности (Э) от частоты приложенного к материалу электрического поля. Второй недостаток противоречит многочисленным экспериментальным данным, приведенным многими авторами [2-5], в том числе и результатам исследований автора [6].

В последней работе предложена электрическая модель влажного сыпучего материала (СМ) в определенной мере свободная от упомянутых недостатков. В ней СМ представлен состоящим из одинаковых частиц сферической формы в

которых находится вода при невысокой влажности и на поверхности частиц, если влажность превышает пористость. Расчет параметров СМ выполнен цепиполевым методом. Для учета форм связи воды с материалом и частотной зависимости ДП и Э приняты их значения в частице на нулевой и бесконечной частотах.

**Не решенная часть проблемы.** Модель значительно приближена к реальному СМ, но частотная зависимость параметров выражена в недостаточной мере, в частности, ДП СМ не может быть больше ДП воды, что в реальном СМ при значительной влажности может иметь место [7].

**Основной материал исследования.** Для устранения этого недостатка сделаем следующее допущение, из числа свойств связанной воды следует указать повышенную плотность. Предположим, что связанная вода находится в наиболее сильной связи (но не химической) образуя двойной мономолекулярный слой с  $\epsilon = 4,5$  и плотностью  $1,74 \text{ т/м}^3$  [8], при этом она находится на значительной части, если не всей поверхности материала. Плотность связанной воды является постоянной величиной в пределах одного минерального состава, и не зависит от температуры, а определяется энергией связи с гетерогенной поверхностью соответствующей величине слоевого заряда, до температуры структурной неустойчивости. Величина, которой сдвинута в высокотемпературную область по сравнению температурой фазового перехода свободной воды [9]. Вся остальная вода в материале является свободной и сохраняет свои свойства. Конечно, это допущение несколько упрощает общую картину, но зато делает возможным учет форм связи, который в общем случае слишком затруднителен.

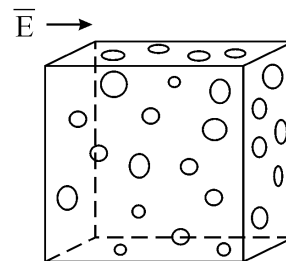


Рисунок 1 – Единичный куб из пористого материала

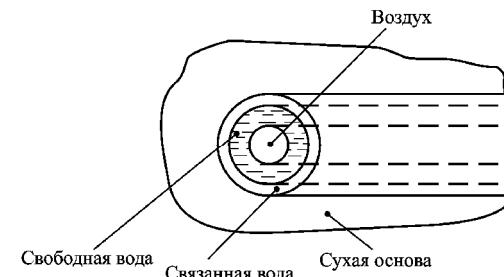


Рисунок 2 – Расположение составляющих в поре материала

Для более подробного рассмотрения представим куб из материала, который содержит сухую основу, воздух, связанную и свободную воду (рис. 1) в сквозных порах. Каждая такая пора включает в общем случае оба вида воды и воздух (рис. 2). Можно считать, что одна треть пор расположены по направлению вектора электрического поля и две трети – нормально к нему. То есть одна треть сухого мате-